



TITLE:

ハイペロン核子相互作用の研究

AUTHOR(S):

今井, 憲一

CITATION:

今井, 憲一. ハイペロン核子相互作用の研究. 2005

ISSUE DATE:

2005-08

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/85183>

RIGHT:

p.8-129は学術雑誌掲載論文の抜き刷り、出版社に著作権許諾が得られていないため未掲載。

ハイペロン核子相互作用の研究

(研究課題番号 12304013)

平成 12 年度～平成 14 年度科学研究費補助金 (基盤研究(A)(2))

研 究 成 果 報 告 書

京 都 大 学 図 書

平成 17 年 8 月



1060007217

附 属 図 書 館

研究代表者

今 井 憲 一

(京都大学大学院理学研究科 教授)

ハイペロン核子相互作用の研究

(研究課題番号 12304013)

平成 12 年度～平成 14 年度科学研究費補助金 (基盤研究(A)(2))

研 究 成 果 報 告 書

平成 17 年 8 月

研究代表者 今 井 憲 一

(京都大学大学院理学研究科 教授)

はしがき

この研究の主な目的は、1) $\Lambda(1405)$ をはじめとするハイペロンの共鳴状態の構造および核物質との相互作用を明らかにすること 2) $\Lambda\Lambda$ の共鳴状態の有無を調べ、Hダイバリオン共鳴の存否や2体の $\Lambda\Lambda$ 相互作用を明らかにすること、を主な目標として全立体角飛跡検出器を製作し、より広くハドロン物理の新しい展開をはかることである。3) それと同時に、KEK および BNL で行われたハイパー核に関する実験データから多くの成果を引き出すことである。

まず SPring-8 の Laser Compton γ 線を使って陽子および原子核標的から $\Lambda(1405)$ を生成して、その崩壊モードをすべて捕らえてその生成率、 A -dependence、質量スペクトルを求め、その構造の問題を明らかにするため、世界的にもユニークな標的内蔵型の3次元飛跡検出器である Time Projection Chamber (TPC) を完成させた。宇宙線を使ってその性能評価を行ったところドリフト方向の分解能 $500\mu\text{m}$ それと直行する方向が $300\mu\text{m}$ の分解能で目標をみたしていることがわかった。そこで SPring-8 の γ 線ビームライン上に超伝導ソレノイド磁石とともにこの TPC を設置し、既設の前方 spectrometer と組み合わせて複合 4π spectrometer を作り、予定どおり1年間にわたって実験を行った。TPC は約 50Hz のトリガーのもと順調に作動し、オンライン解析で荷電粒子の飛跡が見事に捕らえられている。ラムダ粒子や中性 K 中間子の崩壊の測定にも成功しており、最近発見されたペンタクォークについても詳しく調べることができると考えられる。

さらにこの研究では3次元飛跡検出器として scintillating fiber を用いて $^{12}\text{C}(K^-, K^+ \Lambda\Lambda)$ 反応の高統計高分解能の実験 (E522) を KEK で行った。 $\Lambda\Lambda$ の不変質量分布を求めたところ、その閾値近くに H ダイバリオン共鳴状態の可能性のあるピークを発見した。これは以前に乏しい統計であるがわれわれが提起したものであるが、今回これをはっきりと確認することができた意義はきわめて大きい。さらに π 中間子ビームを用いてペンタクォーク探索実験も行った。

この研究をすすめるにあたって、とくに京都大学大学院理学研究科の原子核ハドロン物理学の大学院生の諸君の貢献が大きかった。ここに感謝する。

目 次

はしがき

1. 研究種目および課題番号.....	3
2. 研究課題.....	3
3. 研究組織.....	3
4. 交付決定額（配分額）	3
5. 研究発表リスト.....	3
6. 研究成果による工業所有権の出願・取得状況.....	5
7. 研究の成果.....	5

1. 研究種目および課題番号

基盤研究 (A) (2) 1 2 3 0 2 0 1 2

2. 研究課題

「ハイペロン核子相互作用の研究」

3. 研究組織および研究分担者

研究代表者 : 今井憲一 (京都大学大学院理学研究科教授)

研究分担者 : 齋藤直人 (京都大学大学院理学研究科助教授)

舟橋春彦 (京都大学大学院理学研究科助手)

與曾井優 (京都大学大学院理学研究科助手)

4. 交付決定額 (配分額)

(金額単位 : 千円)

	直接経費	間接経費	合 計
平成 12 年度	12,800	0	12,800
平成 13 年度	14,900	4,470	19,370
平成 14 年度	6,500	1,950	8,450
総 計	34,200	6,420	27,820

5. 研究発表

(1) 学術雑誌

ϕ photo-production from Li, C, Al, and Cu nuclei at $E_\gamma = 1.5-2.4$ GeV

T. Ishikawa, et al., Physics Letters B 608 (2005) 215-222

Hypernuclear Fine Structure in ${}_{\Lambda}^{16}\text{O}$ and the ΛN Tensor Interaction

M. Ukai, et al., Physical Review Letter 93 (2004) 232501

Hypernuclear Fine Structure in ${}_{\Lambda}^9\text{Be}$

H. Akikawa, et al., Physical Review Letters 88 (2002) 082501-1-4

Scintillating-fiber-block detector for studying double-strangeness nuclei

H. Takahashi, et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 483 (2002) 689-697

Observation of a ${}^6_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ Double Hypernucleus

H. Takahashi, et al., Physical Review Letters 87 (2001) 12502-1-5

Measurement of the $B(E2)$ of ${}^7_{\Lambda}\text{Li}$ and Shrinkage of the Hypernuclear Size

K. Tanida, et al., Physical Review Letters 86 (2001) 1982-1985

Production of twin Λ -hypernuclei from Ξ^- hyperon capture at rest
Ichikawa, et al., Physics letters B 500 (2001) 37-46

H -dibaryon and hypernucleus formation in the $\Xi^- {}^{12}\text{C}$ reaction at rest
J.K. Ahn, et al., Physical Review C (2000) 055201-1-055201-12

Observation of a Spin-Flip M1 Transition in ${}^7_{\Lambda}\text{Li}$

H. Tamura, et al., Physical Review Letters 84 (2000) 5963-5966

$\Sigma^- p$ elastic-scattering in the region of $400 < P(\Sigma^-) < 700 \text{ MeV}/c$ with a scintillating-fiber active target

Y. Kondo, et al., Nuclear Physics A 676 (2000) 371-387

(2) 国際会議口頭報告

Search for exotic hadrons, H -dibaryon resonance and pentaquark

K. Imai, 17th International Conference on Particle and Nuclei (PANIC05),
Santa Fe, Oct.24-29, 2005

Photo-Production of Hyperon Resonances at SPRING-8/LEPS

H. Fujimura, et al., Workshop on Quark Nuclear Physics, Phoenix Park,
Pyongchang, Korea, February 22-24, 2005.

Time Projection Chamber for Photoproduction of Hyperon Resonances at
SPRING-8/LEPS

H. Fujimura et al., International Workshop Pentaquark04, SPRING-8 20-23
July, 2004. Proceedings p134-137.

Time Projection Chamber for Photo-production of Hyperons

K. Imai, International Symposium on Electrophoto-production of Strangeness on Nucleons and Nuclei (Sendai03), Sendai, 16-18 June, 2003. Proceedings p293-300.

Time Projection Chamber at SPring-8

M. Niiyama, et al., 16th International Conference on Particle and Nuclei (PANIC02) Osaka, 30 Sep.-4 Oct. 2002. Nucl. Phys. A721 1095c.

$\Lambda(1405)$ photoproduction at SPring8/LEPS

J.K.Ahn, 16th International Conference on Particle and Nuclei (PANIC02) Osaka, 30 Sep.-4 Oct. 2002. Nucl. Phys. A721 715c.

Photo-production of $\Lambda(1405)$ and $K^*(890)$ from Nuclei

K.Imai, International Workshop on Physics with GeV Electrons and Gamma-Rays, Sendai, Feb.13-15, 2001, Proceedings p163.

Recent Progress of Spectroscopy of Light Hypernuclei

K. Imai, Mesons and Light Nuclei, Prague, 2-6 July 2001.

6. 研究成果による工業所有権の出願・取得状況

なし

研究の成果

この間のハイペロンと核子の相互作用の研究には、歴史的な大きな進展があった。

まずハイパー核の γ 線分光の実験が、この一般研究の前の特定領域研究によってハイパーボールと呼ばれる大立体角の Ge 検出器が建設されたことにより可能となり、この間多くの成果をだすことができた。はじめの KEK での ${}^7\text{Li}$ の γ 線分光の実験では ΛN のスピンスピン相互作用が決定された。次の BNL での ${}^9\text{Be}$ の実験では ΛN のスピン軌道相互作用が決定された。このスピン軌道相互作用によるエネルギー準位の分岐は約 40keV と NN に比べてその約 2 桁下ときわめて小さく、大きなインパクトを与える結果であった。さらにその後 BNL で行なわれた ${}^{16}\text{O}$ の γ 線分光の実験で ΛN のテンソル相互作用も決定することができた。これらのハイパー核の γ 線分光により、今まで知られていなかったハイパー核の微細構造がはじめて明らかとなり、その結果先に述べたよ

うに ΛN のスピン依存の相互作用が明らかとなったのである。これは核力の起源の研究とハイパー核の構造の研究に大きなインパクトを与える研究成果といえるだろう。

さらに先の特定領域研究によってハイブリッドエマルジョン法を用いたダブルハイパー核の探索実験が KEK で平成 12 年まで行われた。その後この研究でもそのデータ解析が行われた。この間の大きな成果はラムファと呼ばれる ${}^6\text{He}_{\Lambda\Lambda}$ の発見である。この事象は解釈がひとつしか許されないユニークな事象であり、その質量が正確にもとまった。これからラムファの束縛エネルギーのなかで $\Delta B_{\Lambda\Lambda}$ と呼ばれる $\Lambda\Lambda$ 粒子間の相互作用が束縛エネルギーに寄与する部分が求まる。それによると 2 個の $\Lambda\Lambda$ 粒子間の相互作用は弱い引力であることが確定的となり、これまでの論争に終止符をうつこととなる決定的な発見となり注目された。さらにこのラムファの束縛エネルギーの決定から、H ダイバリオンの質量の下限が決まった。それによると $\Lambda\Lambda$ の質量の約 7 MeV 下ということで、BNL の実験で報告された ${}^4\text{H}_{\Lambda\Lambda}$ の可能性も含めると、安定な H ダイバリオンの存在をほぼ否定する結果ともなり、長い問題のひとつに終止符をうったものともいえる。この研究から H ダイバリオンは存在するとすると共鳴状態であると考えられ、共鳴状態としての H ダイバリオンを探索する実験が企画された。

H ダイバリオン共鳴を $\Lambda\Lambda$ 共鳴を通じて探索する実験は、scintillating fiber visual detector(Scifi)を使って KEK で平成 14 ~ 15 年におこなわれた (E522)。この実験では過去に Scifi 検出器を使っておこなわれたものの約 5 倍の統計精度を得ることに成功した。この結果(K^- , K^+)反応からの $\Lambda\Lambda$ 生成反応事象として 130 事象を観測した。 $\Lambda\Lambda$ の不変質量の分布は過去に suggest されたものと同じく、閾値付近にピークをしめすものであった。この結果はいくつかの国際会議で報告されて注目を浴びた。閾値付近のピークは $\Lambda\Lambda$ の final state interaction でも説明可能な場所であるだけに結果は注意深く分析する必要がある。現在さきのラムファのデータで与えられた $\Lambda\Lambda$ 相互作用と矛盾しない final state interaction を考慮した理論計算との比較を行っている。近く結果がまとまる予定である。

この研究では、SPring8-LEPS での高品質 γ 線ビームによる、ハイペロン生成の研究を大きな主題とした。とりわけ $\Lambda(1405)$ が 3-quark の通常のバリオンか KN の束縛状態かという長年の疑問に答えることを目標とした。そのために LEPS の前方の spectrometer に加えて標的を囲む 4π 型の Time Projection Chamber (TPC) を開発した。TPC は粒子の飛跡を 3 次元で測定することができる高度な検出器である。この TPC は世界で初めての標的内蔵型の TPC である。大きさは直径約 50 cm、長さ約 70 cm と比較的小型であるが、標的で生成される荷電粒子とくにすぐに崩壊する Σ や Λ などのハイペロンを効率よく捉えられることができるのが特徴である。読み出しは 1000 を超える pad から信号を読み FADC で連続的に AD 変換して波形を読む方式である。このために TPC 本体はもちろん、信号処理の電子回路もすべて設計製作した。製作には約 3 年間で多少時間はかかったが、宇宙線を使ったテスト実験を繰り返してシステムとして完

成させた。位置分解能としては 300~500mm という満足すべき結果を得て、平成 15 年から約 1 年間 SPring8 において ~2.4GeV のレーザーコンプトン γ 線ビームを用いて実験を行った。TPC の性能やこの実験については、いくつかの国際会議で報告されていて、注目を集めている。とくに GeV 領域の γ 線によるハドロン物理を進めている米国の Jlab とは競争関係にあるが、標的内蔵型 TPC は多粒子の終状態の場合や、すぐ崩壊するハイペロンや中性 K 中間子にたいする検出感度が高く、十分競争できることがわかっている。最近では Jlab でもわれわれと似た TPC の製作をはじめているほどである。1 年間の TPC 実験はデータ量が膨大であり、データ解析はまだ終わっていないが、 Λ や中性 K 中間子などの検出にも成功している。TPC は荷電粒子を何でも測定できるので多くの反応を調べることができる。目的である $\Lambda(1405)$ のほか f_0K^* などのベクトル中間子や pentaquark など多くの研究が可能であり、そのためのデータ解析のわくぐみづくりにも力をそそいだ。すでに目標である $\Lambda(1405)$ の測定にも成功しており、来年度中には pentaquark も含めていくつかの結果がまとまるであろう。